

Vedecký redaktor prof. Pavol Rafajdus, PhD.

Recenzenti prof. Ing. František Duchoň, PhD.
prof. Ing. Iveta Zolotová, PhD.

Za odbornú, jazykovú a technickú úroveň publikácie zodpovedajú autori.

Vydala Žilinská univerzita v Žiline/EDIS-vydavateľské centrum ŽU

© D. Nemeč, A. Janota, 2019

ISBN 978-80-554-1605-2

Táto publikácia bola vytvorená s podporou Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu SR v rámci riešenia projektu KEGA č. 014ŽU-4/2018: „Rozšírenie obsahu študijného odboru o aktuálne požiadavky praxe v oblasti metód umelej inteligencie a IT“.

Abstrakt

Monografia sa zaoberá lokalizáciou a navigáciou mobilných neholonomických robotov. Najprv sú definované a matematicky analyzované existujúce snímače, ktoré je možné použiť na lokalizáciu mobilného robotického kolesového podvozka (napr. gyroskop, akcelerometer, odometer, magnetický kompas, atď.). Publikácia taktiež navrhuje inovatívne prístupy k lokalizácii, napr. pomocou merania intenzity prichádzajúceho zvuku alebo pomocou aktívnych vizuálnych značiek. Následne bola navrhnutá metóda fúzie údajov jednotlivých snímačov do jedného presnejšieho a dostupnejšieho údaja o polohe robota. Výsledkom fúzie nie je len výsledný údaj, ale aj odhad odchýlky jednotlivých snímačov, ktorý je metódami umelej inteligencie využitý na kalibráciu jednotlivých snímačov, čo ďalej prispieva k zlepšeniu presnosti. V druhej časti sa monografia zaoberá riadením a navigáciou, analyzuje riadenie na všetkých úrovniach autonómie – od ovládania až po autonómnu navigáciu. Monografia okrem prehľadu existujúcich metód prináša aj nové metódy na ovládanie mobilného robotického podvozka a navrhuje modifikácie známych metód s cieľom zlepšiť ich presnosť a optimalizovať ich výpočtovú náročnosť.

Abstract

The monography deals with the localization and navigation of the mobile non-holonomic robots. First, we mathematically analyze the existing sensors localization of the wheeled mobile robotic platform (e.g. gyroscope, accelerometer, odometer, magnetic compass etc.). The work also proposes new innovative methods for localization, e.g. a method based on measurement of the intensity of the approaching sound and method based on active visual marking system. A method for sensor fusion combining all obtained readings into one, more accurate and available, has been developed. The result of the fusion is not just the resultant reading, but also the estimate of the sensor deviations. These deviations can be used by AI methods to calibrate each sensor, which will further improve the precision of the localization. In the second part the monograph analyzes the control of the mobile robot in whole range of the autonomy – from remote manual control to the fully autonomous navigation. Besides the analysis of the existing solutions the monograph describes new methods for remote control and proposes modifications of the known methods allowing the improvement of their accuracy and decrease of the computation cost.

Obsah

Abstrakt	II
Abstract	II
Obsah	III
Zoznam skratiek	VII
Zoznam symbolov	VIII
1. Úvod.....	1
1.1. Použitá literatúra	2
2. Lokalizácia mobilného kolesového robota	3
2.1. Analytický opis vybraných senzorických subsystémov.....	5
2.1.1. Definícia súradnicového systému.....	5
2.1.2. Chybový model snímača	7
2.1.3. Odometria	8
2.1.4. Lokalizácia pomocou značiek	10
2.1.5. Gyroskop	12
2.1.6. Akcelerometer	13
2.1.7. Magnetický kompas	15
2.2. Metóda sensorovej fúzie	15
2.2.1. Fúzia odometra a akcelerometra.....	17
2.2.2. Fúzia s gyroskopom.....	18
2.3. Evaluácia navrhnutého algoritmu	22
2.3.1. Testované snímače	22
2.3.2. Výsledky.....	25
2.4. Riešenie vizuálnej lokalizácie pomocou aktívnych LED značiek	28
2.4.1. Výber farebných kódových symbolov	28
2.4.2. Dosiahnutie rotačnej invariance farebnej značky.....	30

2.4.3.	Spracovanie obrazu z kamery	31
2.4.4.	Teoretická presnosť metódy	32
2.4.5.	Dosiahnuté výsledky	32
2.5.	Použitá literatúra	34
3.	Inteligentná on-line kalibrácia inerciálnych snímačov v reálnom čase.....	37
3.1.	Model systematických chýb inerciálnych snímačov	38
3.2.	Spätné šírenie chyby senzorickej fúzie.....	40
3.3.	Adaptívne škálovanie odchýlky fúzie.....	41
3.4.	Algoritmus učenia.....	42
3.5.	Experimentálne výsledky	43
3.6.	Použitá literatúra.....	47
4.	Vzájomná lokalizácia a identifikácia viacerých mobilných robotov	48
4.1.1.	Centralizovaný prístup.....	48
4.1.2.	Decentralizovaný prístup	48
4.2.	Koncept riešenia	50
4.3.	Výber vhodných frekvencií vzhľadom na hardvérové limity robota	52
4.4.	Výpočet relatívnej polohy susediaceho robota.....	55
4.5.	Experimenty.....	61
4.6.	Dosiahnuté výsledky.....	65
4.7.	Použitá literatúra.....	66
5.	Riadenie mobilného kolesového robota	68
5.1.	Kinematické obmedzenia neholonomického robota.....	68
5.2.	Ovládanie mobilného kolesového robota	70
5.2.1.	Joystick	70
5.2.2.	Ovládanie prostredníctvom EEG signálov mozgu.....	71
5.2.3.	Ovládanie gestom ruky	72

5.2.4.	Ovládanie hlasom	73
5.3.	Verzia rozhrania využívajúca pohyb dlane	74
5.4.	Verzia rozhrania využívajúca pohyb ramena ruky.....	76
5.4.1.	Aktivácia rozhrania pomocou gesta	77
5.4.2.	Nesprávne umiestnenie snímača a kalibrácia.....	80
5.4.3.	Riadenie smeru pohybu robota.....	82
5.4.4.	Riadenie veľkosti rýchlosti robota	84
5.4.5.	Vyššia úroveň riadenia zohľadňujúca prítomnosť prekážok.....	84
5.4.6.	Dosiahnuté výsledky	87
5.5.	Použitá literatúra	89
6.	Autonómne riadenie neholonomického robota v priestore s prekážkami. 91	
6.1.1.	Metóda potenciálových polí	92
6.1.2.	Metóda VFH.....	94
6.1.3.	Metóda VFH +	96
6.1.4.	Algoritmus A*	98
6.1.5.	Algoritmus Theta*	99
6.1.6.	Metóda VFH*	100
6.1.7.	Metóda Hybrid A*	101
6.2.	Modifikácia metódy Hybrid A* využívajúca rovnomerné pokrytie okolitého stavového priestoru.....	103
6.3.	Výpočet vzdialenosti medzi robotom a prekážkou	106
6.4.	Výpočet ceny jedného kroku prehládavania.....	109
6.5.	Odhad budúcej ceny cesty do cieľa.....	111
6.5.1.	Možné najkratšie trajektórie.....	111
6.5.2.	Výpočet hodnoty budúcej trajektórie	115
6.6.	Greed faktor	118

6.7. Experimentálne výsledky	120
6.8. Použitá literatúra.....	125
7. Záver.....	127

Ing. Dušan Nemeč, PhD., prof. Ing. Aleš Janota, PhD., EurIng.

METÓDY LOKALIZÁCIE A RIADENIA
NEHOLONOMICKÝCH KOLESOVÝCH ROBOTOV

Vydala Žilinská univerzita v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina
v edičnom rade VEDECKÉ MONOGRAFIE

Vedecký redaktor prof. Ing. Pavol Rafajdus, PhD.

Zodp. red. PhDr. Katarína Šimánková

Vytlačilo EDIS-vydavateľské centrum ŽU, Univerzitná HB, 010 26 Žilina v roku 2019
ako svoju 4536. publikáciu
129 strán, 65 obrázkov, 15 tabuliek, AH 9,62 VH 10,03
1. vydanie, náklad 100 CD
ISBN 978-80-554-1605-2
www.edis.uniza.sk